

Juho Purola

**SARJAKOON VAIKUTUS ELEKTRONIIKAN MEKANIIKAN
VALMISTUSMENETELMIIN**

SARJAKOON VAIKUTUS ELEKTRONIIKAN MEKANIIKAN VALMISTUSMENETELMIIN

Juho Purola
Opinnäytetyö
Kevät 2015
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka, tuotantotalous

Tekijä: Juho Purola

Opinnäytetyön nimi: Sarjakoon vaikutus elektroniikan mekaniikan valmistusmenetelmiin

Työn ohjaaja: Helena Tolonen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2015 Sivumäärä: 44 + 0 liitettä

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin sarjakoon vaikutusta elektroniikan mekaniikan valmistusmenetelmiin. Työ rajattiin ohutlevytuotteiden valmistukseen, vaikka siinä käydään läpi hieman myös muita menetelmiä. Tutkielmassa selvitettiin, millaisia ongelmia ohutlevyjen valmistus kohtaa sarjakokojen kasvaessa satoihin tuhansiin kappaleisiin, mitä haasteita tämä aiheuttaa työkaluille, mitä vaatimuksia on materiaaleille ja millaisia laitteita ja tekniikoita käytetään otettaessa nämä asiat huomioon. Tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää tutkimuksen suuntaamisessa ja aihealueen hankevalmisteluiden pohjana.

Työ toteutettiin tutkielmana, ja tiedon hakeminen tapahtui kirjallisista lähteistä sekä ohutlevytyökeskusten valmistajien internetsivuilta. Näistä haettiin teorianäkökulmaa ohutlevyjen valmistusmenetelmistä ja siitä, mikä on tyypillistä elektroniikan mekaniikalle ja sen materiaaleille. Tietoa sai myös elektroniikan mekaniikan työelämäkokemuksesta. Näitä lähteitä sovellettiin, jotta saatiin työn tavoitteisiin vaadittavat tulokset.

Materiaalit ja isot sarjakoot tuovat haasteita työkalujen kestolle, ja on tärkeää, että materiaalien laadunvalvonta on hyvällä ja ennen kaikkea ennakoivalla tasolla. Työstökoneisiin integroidut valvontalaitteistot helpottavat tätä työtä, mutta silti materiaalin laadun taso on ehdoton edellytys automatisoinnin järjestämiseen. Automatisoinnin taso ja siihen liittyvät investoinnit on syytä laskea ja harkita todella tarkasti. Pitkälle automatisoidut järjestelmät tuovat säästöä, mutta investoinnit sitovat pääomaa ja riskit epäonnistua teknisistä tai ohjauksellisista syistä kasvavat. Tuottavuus suursarjatuotannossa on kehittynyt nopeammin kuin piensarjatuotannossa, jossa tuotteiden läpimenoaika on pitkä. Tuottavuuden ja alhaisten valmistuskustannusten edellytyksenä ovat tuotantokaluston korkea käyttöaste ja minimoitu käyttöpääoma.

Asiasanat: ohutlevytekniikka, elektroniikan mekaniikka, sarjakoko

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
SISÄLLYS	4
1 JOHDANTO	6
2 ELEKTRONIIKAN MEKANIikka JA OHUTLEVYTUOTTEET	7
2.1 Erilaiset kotelotyyppit	7
2.2 Erilaisten materiaalien haasteet	8
2.2.1 Pinnoittamattomat teräsohutlevyt	9
2.2.2 Metallisesti pinnoitetut teräsohutlevyt	10
2.2.3 Ruostumattomat teräsohutlevyt	10
2.2.4 Alumiiniohutlevyt	11
2.3 Rakenteen vaikutus	12
2.3.1 Reikien vaikutus	12
2.3.2 Ikkunat	13
2.3.3 Liitokset	14
2.3.4 Tiivisteet	14
2.3.5 Jäähdytys	15
3 VALMISTUS	17
3.1 Meistotekniikka	17
3.1.1 Työkalut	18
3.1.2 Jälki- ja tarkastusleikkaus	20
3.2 Lastuaminen	21
3.3 Liittäminen	21
3.4 Pintakäsittely ja viimeistely	25
3.5 Kokoonpano	26
3.6 Ohutlevytuotteen suunnittelu	27
3.6.1 Materiaalin valinta	28
3.6.2 Materiaalierän vaihto ja vaikutus	29
3.6.3 Mekaaninen, terminen ja EMC-suunnittelu	31
3.6.4 Valmistustekninen suunnittelu	32

3.6.5 Ympäristötekhninen suunnittelu	33
3.7 Valmistusmenetelmien automatisointi	34
3.7.1 Määritelmiä ja terminologiaa	34
3.7.2 Edellytykset automatisointiin	36
3.7.3 Laitteistot	36
3.7.4 Joustavuus ja sen merkitys	38
3.7.5 Automatisoinnin taso ja integrointi	40
4 YHTEENVETO	41
LÄHTEET	43

1 JOHDANTO

Ohutlevy tuotteiden valmistuksen suurin kasvualue viime aikoina on ollut elektroniikka- ja sähkölaiteteollisuudessa. Ohutlevykomponenttien kysyntä onkin tällä toimialalla vastannut sen yleistä, voimakasta kasvua. Elektroniikka- ja sähköteollisuutta palvelemaan on syntynyt useita uusia ohutlevyalan yrityksiä ja tuotantoyksiköitä. Myös perinteisten ohutlevyosien valmistukseen erikoistuneiden alihankintayritysten tilauskannasta elektroniikka- ja sähköteollisuuden komponenttien osuus on ollut kasvussa. (1, s. 1.)

Ohutlevyä käytetään sähkö- ja elektroniikkalaitteissa laitteiden rungoissa, kuorissa, säteilysuojissa ja sähköteknisissä koneissa. Nopean tuotekehityksen ja lyhyiden elinkaarien aiheuttamat jatkuvat muutokset on mahdollista toteuttaa ohutlevy tuotteisiin nykyaikaisilla joustavilla levytyökeskuksilla. Kasvaneet sarjakoot ovat myös lisänneet tarvetta uusien menetelmien käyttöönottoon. Kun sarjakoot kasvavat satoihin tuhansiin yksiköihin vuodessa, joudutaan tuotteet valmistamaan puristimien avulla käyttäen vaativia jonotyökaluja tai automatisoituja puristinlinjoja. (1, s.1.)

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan, minkälaisia ongelmia elektroniikan mekaniikan valmistuksessa tulee sarjakokojen kasvaessa satoihin tuhansiin, millaisia haasteita tämä aiheuttaa työkalujen kestoille, mitä vaatimuksia tulee materiaaleille ja millaisia laitteita ja tekniikoita käytetään otettaessa nämä asiat huomioon. Työ keskittyy pääasiassa ohutlevyjen valmistukseen. Työssä käydään myös läpi erilaiset ohutlevyjen valmistuksessa käytettävät tekniikat ja tarkastellaan tyypillisiä ohutlevyistä valmistettavia tuotteita.

2 ELEKTRONIIKAN MEKANIikka JA OHUTLEVYTUOTTEET

Perinteisesti ohutlevykäsitteen rajana on pidetty 3 - 4 mm:n ainevahvuutta. Kuitenkin monet ohutlevytuotteiden valmistusmenetelmät soveltuvat tuota rajaa suuremmillekin ainevahvuuksille. Toisaalta ohutlevytuotteissa käytetyt rakenneratkaisut ovat yleispäteviä, kun tarkoitus on keventää rakenteita jäykkyyden huonontumatta. Tämä pätee erityisesti elektroniikan mekaniikassa käytettäviin kennorakenteisiin tai kotelomaisiin rakenteisiin. Sähkölaitteen koteloinnin tarkoitus on suojata kotelon sisällä olevaa laitetta ympäristöltä ja toisaalta suojata ympäristöä laitteen vaikutuksilta. Näin ollen perinteinen raskas koneenrakennusteollisuuskin on alkanut hyödyntää ohutlevyteknologiaa tuotteissaan. Tämä on tarjonnut yrityksille mahdollisuuden tuottaa markkinoille materiaalia säästäviä, kilpailukykyisiä ja laadukkaita tuotteita kustannustehokkaasti. (2, s. 3.)

Erityispiirre sähkölaitteen koteloinnilla on EMI/EMC-suojaus (Electromagnetic Interference/Compatibility), jolla tarkoitetaan suojautumista sähkömagneettisilta häiriöiltä. Tällaiset häiriöt voivat levitä laitteesta toiseen joko johtimia pitkin tai säteilemällä. Jotta sähkölaitteet voisivat toimia toimintaympäristössään, eivät ne saa päästää ympäristöönsä sovittua tasoa suurempia häiriöitä ja toisaalta niiden pitää sietää sovitun tasoiset häiriöt. Tämän vuoksi sähkölaitteita koskevissa standardeissa on yksityiskohtaiset vaatimukset laitteiden koteloinnista. (1, s. 3.) Ohutlevytuotteen valmistaminen vaatii asiantuntemusta useilta eri osaamisen alueilta, kuten työkalutekniikka, materiaalitekniikka ja muotoilu.

2.1 Erilaiset kotelotyypit

Kotelointi on tärkeä osa elektroniikkalaitteita. Ohutlevyä käytetään melko paljon elektroniikkaa sisältäviin koteloihin ja runkoihin. Ohutlevyrakenne on suhteellisen kevyt lujuteensa nähden, ja niistä saadaan tarvittaessa tehtyä tiiviitä sähkömagneettista säteilyä vastaan. (5, s. 10.) Sähkömagneettista energiaa syntyy, kun sähkövirta kulkee johtimessa synnyttäen sähkömagneettisen kentän. (1, s. 6.)

Koteloinnin tehtävänä on estää käyttäjää koskettamasta sähkölaitteen sähköisiin osiin. Koteloinnin tarkoituksena on myös suojata sähkölaitteen sähköisiä

osia iskuilta, vierailta esineiltä, pölyltä, vedeltä ja kosteudelta. Koteloinnin tulee olla sitä tiiviimpi, mitä hienojakoisempia vieraat aineet ovat. (3, s. 18.) Lisäksi esimerkiksi piirilevyjen kiinnitys kotelon runkoon estää kiinnittämättömän piirilevyn liikkeestä aiheutuvat vauriot, eli kotelo toimii siis varsinaisen elektroniikkalaitteen kannattimena ja suojana. Silti elektroniikkalaitteiden kotelot eivät välttämättä saa tarpeellista huomiota laitteistosuunnitteluprosessissa, jolloin kotelo ei ole esimerkiksi suojausominaisuuksiltaan optimaalinen käyttöympäristöönsä. (13, s. 6.)

Metallinen kotelointi

Perusvaatimus sähkö- tai elektroniikkalaitteen kotelolle on, että kotelomateriaali on hyvin johtavaa ja että kotelossa on mahdollisimman vähän vaimennusta heikentäviä aukkoja, reikiä, rakoja ja muita epäjatkuvuuskohtia. Metallisessa ohutlevyssä itsessään on riittävän hyvä johtavuus EMI-suojausta ajatellen. Jos tuotteen kotelo on valmistettu johtamattomasta materiaalista, joudutaan EMI-suojaus varmistamaan metalloinnilla tai metalliverkolla. Suojauksen tehokkuus riippuu sähkömagneettisen aallon impedanssin ja suojausmateriaalin impedanssin eroista. Mitä suurempi ero on, sitä tehokkaampi suojaus on. (1, s. 8.)

Tietokoneista ja telelaitteista säteilevät emissiot ovat tyypillisesti erittäin suuritaajuisia ja -impedanssisia sähkökenttiä, joten niiltä suojautuminen ei ole ongelma puhtaasti johtavalla metallilla, koska niillä on pieni impedanssi. Tämä tarkoittaa että vastus on pieni. Sen sijaan matalataajuisilta magneettisilta kentiltä suojautuminen ei onnistu puhtaasti johtavilla metalleilla. (1, s. 8.)

2.2 Erilaisten materiaalien haasteet

Konstruktiomateriaalin valinnassa pyritään taloudelliseen optimiratkaisuun. Materiaalin on täytettävä tuotteelle asetetut käyttövaatimukset, esimerkiksi kestävä kuormitusten aiheuttamat rasitukset. Tärkeätä on, että tuote kestää sille tarkoitetun käyttöiän toimintaympäristössään. Materiaali on valittava myös tuotteen valmistukseen helposti soveltuvaksi. Materiaalin valinta edellyttää materiaalien ominaisuuksien tuntemista ja tietoa siitä, miten osien valmistusmenetelmät ja toisaalta tuotteen käyttöolot vaikuttavat näihin ominaisuuksiin. Kun tuote

aikanaan poistetaan käytöstä, on sen materiaali voitava vaivattomasti käyttää uudelleen tai hävittää haittaa aiheuttamatta. (7, s. 7.)

Metallin ominaisuudet riippuvat kemiallisesta koostumuksesta ja metallin sisäisestä rakenteesta, johon vaikuttavat erilaiset käsittelyt. Käsittely voivat muuttaa metallin ominaisuuksia merkittävästi. Esimerkiksi pinnoitteilla ja pintakäsittelyillä voidaan metalleja suojata korroosiolta ja kulumiselta ja siten parantaa rakennesien ominaisuuksia. (7, s. 7.)

2.2.1 Pinnoittamattomat teräsohutlevyt

Pinnoittamattomat teräsohutlevyt luokitellaan valmistustavan mukaan kuuma- ja kylmävalssattuihin. Kylmävalssatut ohutlevyt ovat mittatarkkoja ja pinnanlaadultaan hyviä. Kuumavalssattuja ohutlevyjä käytetään kohteisiin, joissa pinnanlaatuvaatimukset ovat alhaisemmat. Ohutlevyjä valmistetaan useita ominaisuuksiltaan ja pinnanlaadultaan toisistaan poikkeavia tyyppejä. (5, s. 10.)

Muovaukseen sopivat parhaiten kylmävalssatut muovattavat ohutlevyt, joita on saatavana 3 mm:n materiaalipaksuuteen asti. Muovattavat ohutlevyt soveltuvat käyttökohteisiin, joissa materiaalilta vaaditaan tiettyjä muovattavuuteen liittyviä ominaisuuksia, mutta lujuudelle ei yleensä aseteta vähimmäisvaatimuksia. (5, s. 11.)

Pinnoittamattomia teräsohutlevyjä voidaan liittää onnistuneesti useilla eri menetelmillä. Tuotteelle asetetut vaatimukset ja materiaalin lujuus vaikuttavat luonnollisesti liittämismenetelmän valintaan. Pinnoittamattomat ohutlevyteräket ovat hyvin hitsattavia vähäisen seostuksen ansiosta. (5, s. 11.)

Pinnoittamattomia teräsohutlevyjä toimitetaan pinnanlaadultaan vaatimaan pintakäsittelyyn soveltuvana. Useissa käyttökohteissa pinnoittamaton ohutlevy tarvitsee pintakäsittelyn esimerkiksi huonon korroosionkeston tai ulkonäön takia. Pintakäsittely aiheuttaa lisäkustannuksia, mikä yhtenä syynä vähentää pinnoittamattoman teräsohutlevyn käyttöä. (5, s. 11.)

2.2.2 Metallisesti pinnoitetut teräsohutlevyt

Korroosiota vastaan teräsohutlevyt suojataan erilaisilla metallisilla tai orgaanisilla pinnoitteilla. Yleisimpiä ovat kuuma- ja sähkösinkityt ohutlevyt. Pinnoitteiden seokset vaihtuvat käyttökohteen mukaan. (5, s. 11.)

Lyijyttömät kuumasinkityt pinnoitteet kestävät korroosiota ja muovausta entistä paremmin, ja niiden maalattavuus jälkivalssattuna on hyvä. Nykyisillä ohuilla sinkkipinnoitteilla, jotka ovat paksuudeltaan 60 - 150 g /m² saavutetaan hyvä työstettävyys ja vastushitsattavuus. Sinkki-rauta-pinnoitteilla vastushitsattavuus ja maalattavuus edelleen paranevat. (5, s. 11.)

Teräsohutlevyjä pinnoitetaan myös saostamalla sinkki elektrolyytisesti nestekylvyssä, jolloin on kyseessä sähkösinkitys. Sähkösinkityksellä voidaan pinnoittaa puhtaan sinkin lisäksi myös sinkin ja muiden metallien seoksia, kuten nikkeä, alumiinia tai tinaa. Sähkösinkityksellä pinnoitettuja teräsohutlevyjä käytetään ensisijaisesti tuotteissa, jotka pintakäsitellään maalaamalla. Näin syntyvä pinnoite on yleensä ohuempi kuin kuumasinkityksessä syntyvä, joten sähkösinkityksen pinnoitteiden antama korroosio-suoja on heikompi. Seospinnoitteista yleisin on sinkki-nikkeli-pinnoite, jolla tavoitellaan parempaa hitsattavuutta, muovattavuutta ja korroosionkestävyyttä. Tinapinnoitettuja teräsohutlevyjä käytetään jonkin verran elektroniikkalaitteissa, kun levyyn on tehtävä tinajuotoksia. (5, s. 11 - 12.)

2.2.3 Ruostumattomat teräsohutlevyt

Ruostumattomat teräkset luokitellaan metallurgisen rakenteensa perusteella austeniittisiin, ferriittis-austeniittisiin, ferriittisiin ja martensiittisiin laatuihin. Yleinen korroosionkestävyys austeniittisilla ruostumattomilla teräksillä on hyvä. Käytettäessä austeniittista ruostumatonta terästä on huomioitava, että se on taipuvainen jännityskorroosioon erityisesti kloridipitoisessa ympäristössä. Austeniittiset laadut ovat muokkauslujittuvia ja soveltuvat siten hyvin venytysmuovaukseen. Niillä on myös hyvät muovattavuusominaisuudet suuren murtovenymän ansiosta. Levyä leikatessa muokkauslujittuminen lisää terien abrasiivista

kulumista ja vaikeuttaa lastuavaa työstöä sekä mekaanista leikkausta. Austeniittinen ruostumaton teräs ei ole magneettinen hehkutetussa tilassa. Austeniittiset laadut ovat yleensä hyvin hitsattavia kaikilla kaarimenetelmillä. (5, s. 12.)

Ferriittisillä laaduilla yleinen korroosionkestävyys on heikompi kuin suteniittisillä laaduilla. Toisin kuin austeniittiset laadut, ferriittiset laadut eivät ole taipuvaisia jännityskorroosioon. Ferriittisten laatuojen muovattavuusominaisuudet ovat lähes vastaavat kuin tavanomaisilla seostamattomilla teräksillä. (5, s. 12.)

2.2.4 Alumiiniohutlevyt

Alumiinilla ja sen seoksilla on laaja käyttöalue ominaisuuksiensa puolesta. Eniten käytetään alumiiniseoksia, joiden lujuus on parempi verrattuna puhtaaseen alumiiniin. Keveyttä vaativissa tuotteissa alumiini on hyvä vaihtoehto. Alumiiniohutlevyillä on yleisesti kohtuulliset lujuusominaisuudet, hyvä muokattavuus, hyvä korroosionkesto sekä hyvä sähkö- ja lämmönjohtavuus. Alumiiniohutlevyn ulkonäkö käy usein käyttökohteeseensa sellaisenaan. Ulkonäköä ja korroosionkestävyyttä parannetaan erityisesti anodisoinnilla ja maalauksella. Alumiinin korroosionkestävyys aiheutuu sen pinnalle muodostuvasta tiiviistä oksidikerroksesta. Alumiini ei kuitenkaan kestä suojaamattomana epäorgaanisia happoja eikä alkaaleja. (5, s. 13.)

Alumiiniohutlevyjen käyttökohteet vaihtelevat seostuksesta ja toimitustilasta riippuen. Paras korroosionkesto on AlMg-seoksilla. Lujuutta vaativissa käyttökohteissa oikea valinta on enemmän seostetut laadut. Kupariseosteiset alumiiniohutlevyt ovat murtolujuudeltaan parhaita, mutta niillä on heikko korroosionkesto ja hitsattavuus. (5, s. 14.)

Alumiinin ja sen seosten hitsaus on vaativampaa kuin terästen. Hitsausta vaikeuttaa alumiinin suuri lämmönjohtavuus ja ominaislämpö. Hitsauksessa lämmöntuonti pitää olla riittävän suuri ja sen pitää tapahtua nopeasti. Yleisesti alumiinin hitsauksessa käytetään kaasukaarimenetelmiä MIG ja TIG. Alumiinin hitsattavuus vaihtelee suuresti seostuksesta riippuen. Kaasukaarimenetelmillä hitsatut liitokset vaativat lähes aina viimeistelyä, jos hitsatun tuotteen ulkonäölle

on asetettu vaatimuksia. Laserhitsauksella hitsistä saadaan usein tasalaatuisempi kuin kaasukaarihitsausmenetelmillä ja viimeistelyyn kuluvan työn osuus pienenee tai jää kokonaan pois. (5, s. 14.)

2.3 Rakenteen vaikutus

Kohtuullisen paksuisilla ohutlevymateriaaleilla on melko helppo päästä 200 dB:n vaimennukseen. Käytännössä ohutlevytuotteen suojauskykyä ei määrittelekään materiaalin ominaisuudet, vaan suojauskykyä rajoittavat aukot ja epäjatkuvuuskohdat suojauksessa. Aukkoja tarvitaan ilmanvaihtoa, ohjaimia, liittimiä ja näyttöjä varten. Kahden johtavan osan välissä oleva liitos on epäjatkuvuuskohta, joka voi käyttäytyä suojauksessa kuten aukko. (1, s. 13.)

2.3.1 Reikien vaikutus

On olemassa erilaisia teorioita aukkojen vaikutuksesta säteilysuojaukseen. Yksinkertaisimman oletuksen mukaan suojauskyky (Shielding Effectiveness) on suoraan verrannollinen pisimmän aukonmitan ja taajuuden suhteeseen, joka lasketaan kaavalla 1. (1, s. 13.)

$$SE = 20\log(\lambda/2L)$$

KAAVA 1

SE = Shielding Effectiveness (dB)

λ = aallonpituus

L = pisin aukonmitta

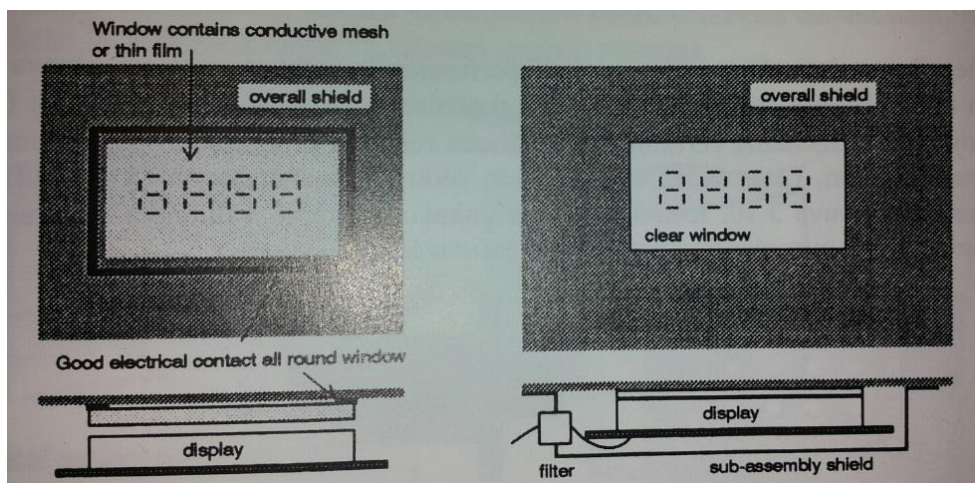
Kaavan 1 mukaan suojaus on 0 dB kun $\lambda = 2L$. Teorian mukaan SE kasvaa lineaarisesti vähenevän taajuuden myötä, kunnes se saavuttaa seinämateriaalin määräämän maksimiarvon. Suuremmat aukot pienentävät SE:tä. Reikämäisille aukoilta voidaan käyttää korjauskerrointa. (1, s. 13.)

Toinen teoria olettaa, että pienet aukot säteilevät kuten sähköisen ja magneettisen dipolin yhdistelmä. Tämän teorian mukaan SE pysyy vakiona lähikentässä. Taajuuden kasvaessa kaukokentässä SE vähenee suhteessa f^2 . SE on riippuvainen aukon mittojen kuutiosta ja mittauspisteen ja aukon välisestä etäisyydestä. (1, s. 13.)

2.3.2 Ikkunat

Erikokoiset ikkunat ja näytöt aiheuttavat yleensä laajan aukon avoimen alueen suojaukseen. Tällöin ikkuna voidaan peittää läpinäkyvällä johtavalla materiaalilla, jonka täytyy muodostaa jatkuva johtavuus ympäröivän kotelon kanssa, tai tyytyä suojautumaan ainoastaan matalilta taajuuksilta. Ikkunoiden suojauksessa voidaan käyttää ohutta pinnoitettua kupariverkkoa tai erittäin ohutta kullalla pinnoitettua kalvoa. Kummassakin tapauksessa on ikkunan läpäisevän valon osuus pienempi kuin kirkkaan lasi-ikkunan, tyypillisesti 60 - 80 %. Läpinäkyvän johtavan pinnoitteen suojauskyky on merkittävästi pienempi kuin kiinteän suojan, koska pinnoitteen sähkönvastus on muutaman Ohm/neliö ja vaimeneminen tapahtuu ainoastaan heijastumalla. Suojatut ikkunat ovat tyypillisesti kalliita eivätkä sovi kaikkiin tuotteisiin.

Ikkunoissa voidaan käyttää myös vaihtoehtoista menetelmää, alikotelointia. Se on ikkunan takana oleva kotelointi joka on johtavassa kontaktissa pääkoteloinnin kanssa (kuva 1). Tällöin ikkunan valonläpäisykyky ei heikkene verrattuna lasi-ikkunaan, mutta jotta suojaus olisi yhtenäinen, sähköiset liitokset näyttöön täytyy suodattaa. Tämä vaihtoehto on usein halvempi ja helpompi kuin suojatut ikkunat ja sitä voidaan soveltaa myös muihin aukkoihin kotelossa. (1, s. 15.)

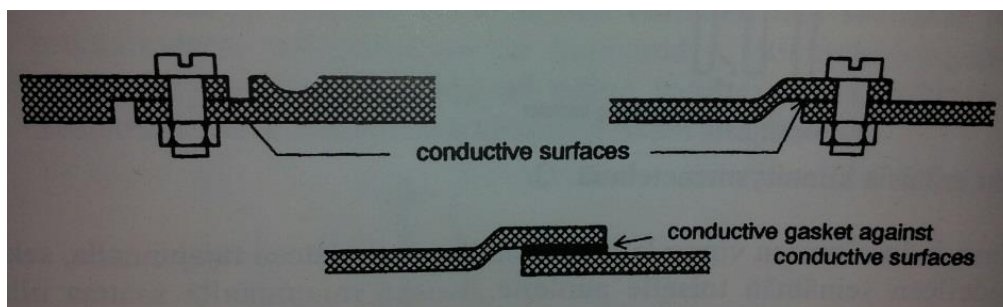


KUVA 1. Erilaisia vaihtoehtoja ikkunoiden säteilysuojaukseen (1, s. 15)

2.3.3 Liitokset

Useasti metallinen sähkömagneettisen säteilyn suoja on tehty toisiinsa liitetystä ohutlevyistä, mutta kahden toisiinsa liitetyn ohutlevyn liitoskohdassa ei sähköinen johtavuus ole aina riittävä. Tämä saattaa aiheutua johtavuuden vääristymästä, jos liitettävät pinnat eivät sovi yhteen, tai maalauksesta, anodisoinnista tai korroosiosta, jolloin yhdellä tai useammalla pinnalla on eristävä kerros. (1, s. 17.)

Kotelon liitosten vaikutusta EMC-suojaukseen voidaan huonoimmillaan verrata aukkojen ja ikkunoiden suojaukseen. Kiinnittimien välimatkan d suhde raon korkeuteen h voi olla niin suuri, että suojaus on suureen aukkoon verrattuna vain 10 - 20 dB parempi. Tällainen ongelma esiintyy yleensä saranoilla kiinnitetyissä etupaneeleissa, ovissa ja irrotettavissa luukuissa, jotka ovat osa suojaavaa kotelokokonaisuutta. Ongelma pienenee hiukan, jos johtavat levyt ovat limittäin kontaktissa keskenään, koska näin syntyy osittain virtaa johtava polku korkeissa taajuuksissa. Kuvassa 2 on esitetty keinoja, joilla johtavuutta yli liitosten voidaan parantaa. (1, s. 17.)

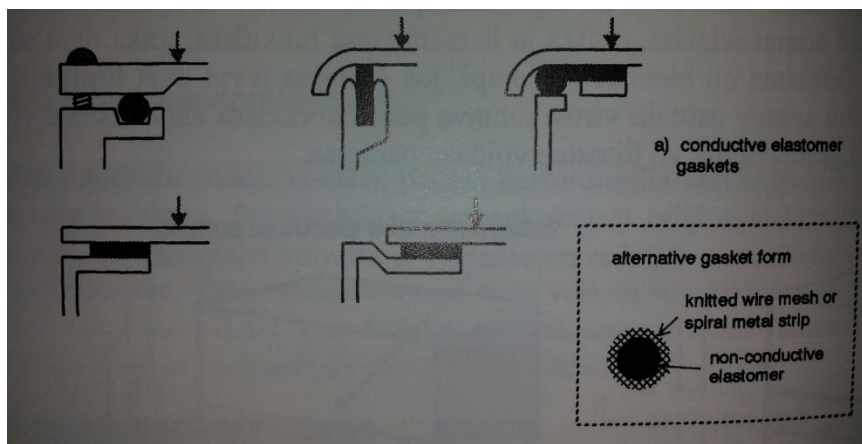


KUVA 2. Liitoskohdissa johtavat pinnat ovat kontaktissa keskenään (ylhällä) tai pintojen välissä on johtava tiiviste (alhaalla) (1, s. 17)

2.3.4 Tiivisteet

Ohutlevykotelon suojauskykyä liitoksissa voidaan parantaa, jos pienennetään kiinnityskohtien tai pistemäisten liitoskohtien välistä etäisyyttä. Mikäli kuitenkin

halutaan suojautua yli 1 GHz:n taajuuksilta, on tarvittava kiinnityskohtien välimatka epäkäytännöllisen pieni huolta ja käsiteltävyyttä ajatellen. Tällaisissa tapauksissa voidaan kahden paneelin tai laipan välistä johtavaa polkua parantaa käyttämällä johtavaa tiivistettä, kudottua lankaverkkoa tai maadoitusjousta (kuva 3). Näitä komponentteja käytetään siten, että ne ovat kahden liitettävän pinnan välissä puristuksissa muodostaen johtavan kontaktin liitoksen yli, jolloin kotelossa kulkeva virta ei muuta suuntaa. Niiden tehokkuus riippuu täysin siitä, miten hyvin liitoskohdan impedanssi sopii yhteen kotelomateriaalin impedanssin kanssa. (1, s. 18.)



KUVA 3. Johtavien tiivisteen käyttötapoja (1, s. 18)

2.3.5 Jäähdytys

Jäähdytysmenetelmän valinnassa ja mitoituksessa on otettava huomioon laitteen termisen käyttöympäristön asettamat vaatimukset. Pienitehoisissa huoneen lämpötilassa toimivissa laitteissa, kuten televisio tai dvd-soitin, jo pelkät kotelossa olevat ilmanvaihtoaukot ovat riittävät varmistamaan laitteen jäähdytyksen (kuva 4). Lentokone-elektronikan suunnittelu toimii esimerkkinä toisesta äärilaidasta, koska olosuhteet muuttuvat parin minuutin kuluessa äärilaidasta toiseen. Myös toiminnan kesto vaativassa ympäristössä on tärkeää tietää suunnitteluprosessia aloittaessa. (6.)



KUVA 4. Tietokoneen kotelon ilmajäähdytys tuulettimien avulla (11)

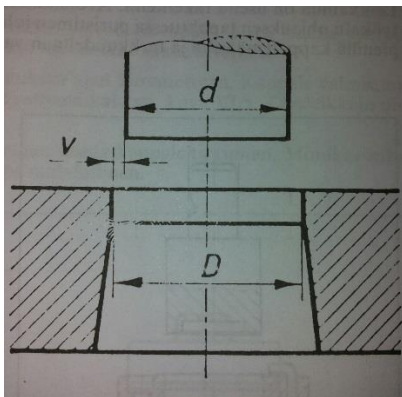
Elektroniikan laitteet eivät kuitenkaan ole suorassa kosketuksessa ympäristön kanssa, vaan laitteen ja sen ympäristön välisenä paikallisena jäähdytysaineena toimii ilma, vesi tai dialektrinen neste. Ihanteellisin jäähdytysaine on ilma, koska se on myrkytön, kaikkialla saatavissa eikä siinä ole vuotovaaroja. Haittapuolena on ilman vaatimaton lämmönjohtavuus, joten sen käyttö on rajoittunut pienitehoisiin laitteisiin. (6.)

3 VALMISTUS

3.1 Meistotekniikka

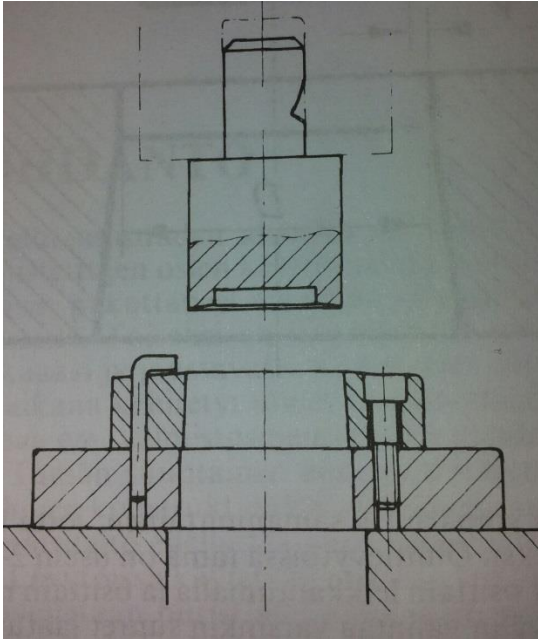
Meistotekniikalla tarkoitetaan tuotteiden valmistamista levystä tai nauhasta joko leikkaamalla tai muovaamalla. Meistotekniikkaa käyttämällä valmistetaan suuria kappalemääriä. Meistotekniikan tärkeimmät työkalutyypit ovat leikkain eli lävistin, meisti ja vedin. (4, s 233.)

Leikkaaminen on yleisnimitys lävistämiselle, irrottamiselle sekä muille leikkaustavoille. Lävistäminen on suljetun muodon leikkaamista aihioon, kuten reiän leikkaaminen aluslevyyn. Irrottaminen on aihion leikkaamista irti rainasta. Aihio on leikkauksessa muodostunut osa, jota käytetään tuotannossa. Leikkausväli on pistimen ja tyynyn leikkaavien reunojen etäisyys toisistaan (kuva 5).



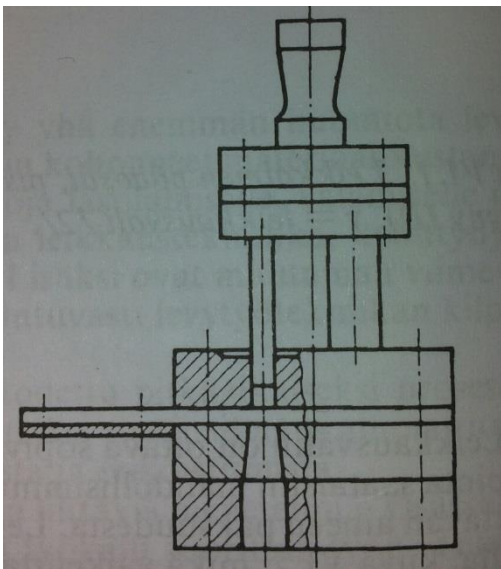
KUVA 5. Leikkaimen pääosat, pistin (d) ja tyyny (D), v = leikkausväli (4, s. 233)

Leikkausvälin on oltava sopivan suuruinen ja ympäriinsä samanmittainen, jotta leikkauspinta saataisiin mahdollisimman suoraksi ja sileäksi. Ohutlevytöissä tämä on usein 2 - 3 % leikattavan aineen paksuudesta. Leikkauspinta syntyy osittain leikkautumalla ja osittain murtumalla, mikä vaikuttaa oikean leikkausvälin valintaa varsinkin suuret laatuvaatimukset vaativissa töissä (kuva 6). Yleensä pieni leikkausväli antaa parhaan tuloksen, mutta asettaa toisaalta suuret vaatimukset työkalujen valmistustarkkuudelle ja kestävyydelle. (4, s. 233.)



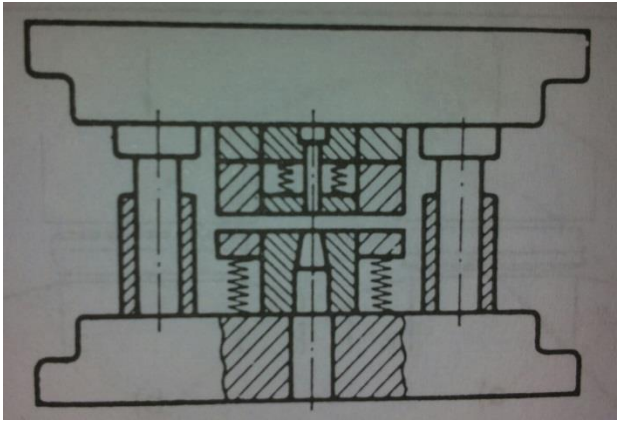
KUVA 7. Avoleikkain (4, s. 234)

Suurille kappalemäärille sopii levyjohteinen leikkain, joka on myös huomattavasti tarkempi työkalu kuin avoleikkain (kuva 8). Siinä toimii irrotuslevy samalla pistimen tai pistinten ohjaimena ylä- ja alatyökalun välissä. Irrotuslevy on kiinnitetty alatyökaluun. (4, s. 234.)



KUVA 8. Levyjohteinen leikkain (4, s. 234)

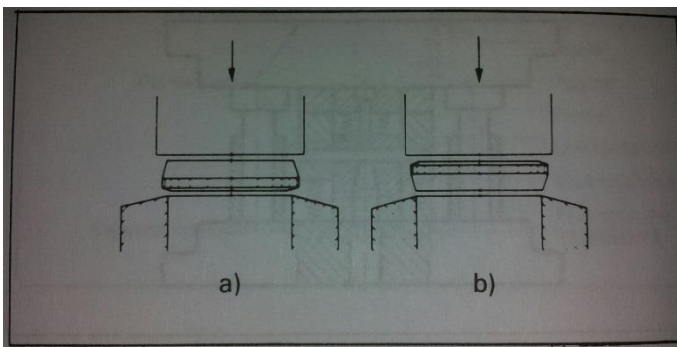
Pylväsjohteinen leikkain on työkalu, jossa erillisillä johdepylväillä ohjataan rungon ala ja yläosaa, jolloin niihin kiinnitetyt pistimet ja tyynyt liikkuvat tarkasti toisensa suhteen (kuva 9). Ne ovat täysin riippumattomia puristimen toimintatarkkuudesta ja ovat eniten käytettyjä. (4, s. 235.)



KUVA 9. Pylväsjohteinen täysleikkain (4, s. 235)

3.1.2 Jälki- ja tarkastusleikkaus

Erikoismenetelmillä päästään tavanomaista parempaan mittaustarkkuuteen ja kohtisuoriin leikkauspintoihin. Tällaisia ovat mm. jälki- ja tarkkuusleikkaus. Jälki-leikkaus on periaatteessa lastuavaa työstöä, sillä siinä ylimittaisesta kappa-leesta leikataan ohut lastu reunoista kartiomaisen tyynyn terävän reunan toimiessa leikkaavana särmänä (kuva 10).



KUVA 10. Jälkileikkauksen periaate (4, s. 236)

Tarkkuusleikkaus täyttää kovatkin pintavaatimukset. Se edellyttää levyn pidättämistä leikkauksen aikana, ja tämä voidaan tehdä vain monitoimisilla puristimilla.

Tarkkuusleikkaustyökalut ovat hyvin tarkasti tehtyjä leikkausvälin ollessa erittäin pieni, ja siksi ne ovat kalliimpia kuin tavalliset leikkaustyökalut. (4, s. 236.)

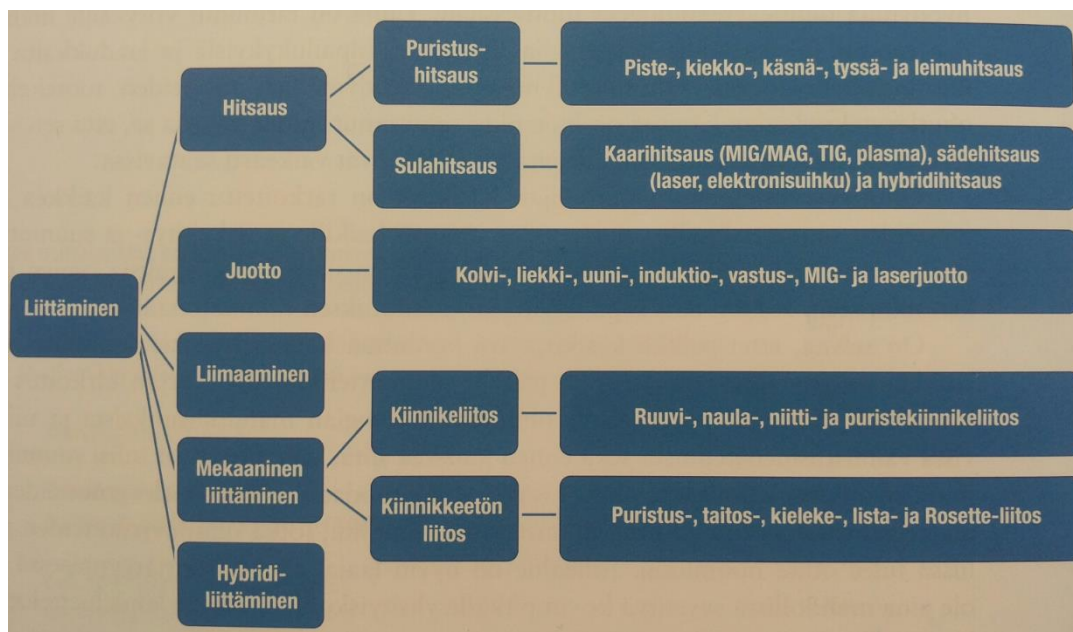
3.2 Lastuaminen

Lastuaminen on tärkein työstömenetelmä. Rouhintatyöstössä työkappaleesta irrotetaan suuria ainemääriä tehokkaasti. Viimeistelytyöstössä tavoitteena on hyvä mittatarkkuus ja pinnanlaatu. Lastuaminen on kallis työstömenetelmä ja sitä on yritetty korvata ja vähentää tarkempien aihionvalmistusmenetelmien avulla. Yhä kasvavat tuotesuunnittelun asettamat mittatarkkuusvaatimukset ovat säilyttäneet lastuamisen osuuden työstössä lähes ennallaan eikä lastuamisen korvaaminen valu- tai muovausmenetelmillä ole onnistunut.

Lastuaminen perustuu työstettävää materiaalia huomattavasti kovemman terän tunkeutumiseen työkappaleeseen. Plastisen muodonmuutoksen seurauksena terä irrottaa kappaleesta ainetta, lastuja. Lastuavan terän muodon perusteella voidaan tehdä jako lastuamiseen geometrisesti määrätyn muotoiseksi muokattulla terällä kuten sorvaaminen ja jysintä, tai lastuaminen geometrisesti epä-määräisellä terällä kuten hionta ja hienotyöstömenetelmät. (4, s. 140.)

3.3 Liittäminen

Liittäminen on yksi tärkeimmistä vaiheista ohutlevytuotteen valmistuksessa. Yleisimpiä liittämismenetelmiä ovat niitti-, ruuvi- ja hitsausliitokset. Ohutlevyliitoksissa käytetään myös runsaasti perusmateriaalin muovaukseen perustuvia menetelmiä. Liitoksia suunniteltaessa on otettava huomioon työkalujen ulottuvuus. Uudempana menetelmänä laserhitsaus antaa suunnittelijalle uusia mahdollisuuksia ja etuja liitosten muotoiluun. Laserhitsauksessa riittää, että liitokseen päästään käsiksi vain yhdeltä puolelta. Erilaisia ohutlevyjen liittämismenetelmiä on esitetty kuvassa 11. (5, s. 24.)



KUVA 11. Erilaisia ohutlevyjen liittämismenetelmiä (2, s. 4)

Niittiliitos

Niittiliitos on yleisesti käytetty liitostyyppi ohutlevyteollisuudessa. Niittiliitoksia käytetään erityisesti silloin, kun materiaalit eivät ole hitsattavissa tai liitetään metalleja ja epämetalleja toisiinsa. Niittiliitos soveltuu parhaiten leikkauskuormitettuihin liitoksiin. Niittiliitokset kuuluvat ei-irrotettaviin kiinteisiin liitoksiin, mutta esimerkiksi sokkoniitit eli popniitit on helppo poistaa poraamalla. Tämä on yksi eniten käytetyistä ohutlevytekniikan liittämismenetelmistä. Popniittauksessa ei vaadita pääsyä liitoksen molemmille puolille. Popniittejä on saatavilla useita eri malleja erilaisiin käyttökohteisiin, kuten esimerkiksi vedenpitävyyttä tai paineenkestävyyttä vaativiin liitoksiin sekä pehmeille materiaaleille. (5, s. 25.)

Ruuviliitokset

Ruuviliitokset soveltuvat käyttökohteisiin, joiden liitokset tulee olla aukaistavissa. Ruuviliitoksessa kiristyminen on tasaista ja liitos on luja. Ruuviliitos voidaan varmistaa käyttämällä lukkomuttereita ja aluslevyjä. Koneruuvi-mutteriyhdistelmän käyttö vaatii yleensä pääsyn liitoksen molemmille puolille, mutta käytettäessä levyruuvia riittää pääsy liitoksen toiselle puolelle. Levyruuveja on saatavissa myös itseporautuvina, jolloin kiinnitykseen ei tarvita kuin yksi työvaihe.

Ohutlevyissä mutteria vastaava kierreosa voidaan tehdä levyyn vedettyyn kau-
lukseen, jolloin liitososien määrä vähenee ja kiinnitys voidaan tehdä yhdeltä
puolelta. Ohutlevytuotteissa käytetään perinteisten ruuvien ja muttereiden ase-
masta paljon puristekiinnikkeitä, kuten puristemuttereita, -ruuveja ja –väliholk-
keja (kuva 12). Erilaisia puristekiinnikkeitä on saatavilla varsin runsaasti. Val-
mistajien valikoimissa on erilaisia mutteri- ja ruuvikiinnikkeitä, holkkeja esimer-
kiksi piirilevyjen kannatteluun ja asemointiin ja erilaisia paneelien lukitusosia ja
 muita erikoiskiinnikkeitä. Puristekiinnikkeillä liitoksesta saadaan kestävä ja tuote
on helpommin koottavissa kuin perinteisillä ruuviliitoksilla. (5, s. 25.)



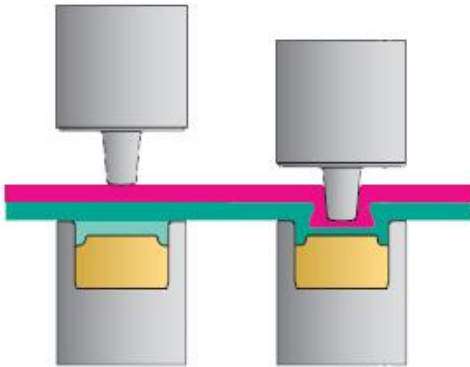
KUVA 12. Erilaisia ohutlevytuotteissa käytettäviä puristekiinnikkeitä (8)

Vastushitsaus

Vastushitsaus on yleisin teräsohutlevytuotteiden liittämismenetelmä. Vastushit-
sauksessa ei tarvita lisäainetta ja hitsaukseen tarvittava lämpö syntyy yhteenlii-
tettävien osien vastuksista, kun niiden läpi kulkee korkea hitsausvirta. Hitsatta-
vien osien välille syntyy sähköä johtava kontaktipinta, kun osia puristetaan yh-
teen elektrodeilla. Vastushitsauksessa elektrodien tehtävänä on välittää tarvit-
tava puristusvoima sekä ohjata hitsausvirta kulkemaan hitsattavasta kohdasta.
Vastushitsauksen työvaiheet ovat lyhyitä ja se sopii erityisesti automatisoituihin
tuotantolinjoihin. Vastushitsaus soveltuu myös useimmille metallisesti pinnoite-
tuille ohutlevyille. Ohutlevyjen liittämisessä pistehitsaus on tavanomaisin vas-
tushitsausmenetelmä. (5, s. 27.)

Puristusliitos

Puristusliitoksessa liitettävät ohutlevyt muovautuvat paikallisesti ja syntyvä muoto lukitsee osat toisiinsa (kuva 13).



KUVA 13. Puristusliittämisen periaate (9)

Puristusliitos on mekaaninen kiinnikkeetön liitos, jossa lukitus tehdään työkalulla, joka muodostuu pistimestä ja tyynystä. Puristusliitoksella tehdään noin 0,4 – 8 mm paksuja ohutlevyliitoksia. Liitettävän ohutlevyn paksuus voi olla 0,2 - 4 mm. Liitettävien materiaalien tulee olla kylmänä muovattavia, koska liitoskohdassa ne muokkauslujittuvat. Myös pinnoitetut ohutlevyt sopivat puristusliitettäviksi, koska oikein tehdyssä liitoksessa pinnoite vaurioituu vain vähän tai ei ollenkaan. Erityisesti sinkityillä ohutlevyillä korroosiosuojaus säilyy myös liitoskohdassa. Puristusliittämisessä liitoskohdan tulee olla tyypiltään päällekkäis- eli liimiliitos ja liitoskohtaan on päästävä käsiksi molemmilta puolilta. (5, s. 27.)

Laserhitsaus

Laserhitsauksen merkittävimpiä etuja ovat hyvin kohdistettava ja nopea lämmöntuonti sekä vähäiset muodonmuutokset liitettävissä osissa. Laserhitsauksen huomattava etu on myös se, että hitsisauma voidaan tehdä liitoksen yhdeltä puolelta. Tyypillinen laserhitsi on syvä ja kapea, jolloin pinnoite vaurioituu hitsauspuolelta hyvin pieneltä alueelta. Sinkityillä ohutlevyillä sinkki suojaa kokeuksien perusteella galvaanisesti varsin hyvin kapeaa laserhitsiä. Pinnoitettujen ja erityisesti värivalmiiden ohutlevyjen hitsauksessa optimoitu lämmöntuonti

on avainasemassa, kun pyritään estämään pinnoitteen vaurioituminen hitsauksessa limiliitoksen vastapuolella. Laserhitsauksessa hitsin tunkeutuma on tarkasti hallittavissa, joten ohutlevyn pinnoitteen vaurioituminen limiliitoksen toiselta puolelta voidaan useimmiten estää käyttämällä sopivia hitsausparametreja. Limiliitoksen laserhitsauksessa ongelmia aiheuttaa korroosionestoon käytettävien sinkkipinnoitteiden höyrystyminen. (10.)

Liimaus

Liimaus soveltuu hyvin ohutlevyjen liittämismenetelmäksi ruostumattomille teräksille. Siihen voidaan myös yhdistää mekaaninen liitos, jolloin on kyseessä hybridiliitos. Liimoina käytetään yleensä epoksi- ja polyuretaaniliimoja. Liimaliitosten etuja ja haittoja on esitetty taulukossa 1. (2, s. 56.)

TAULUKKO 1. Liimaliitosten etuja ja haittoja (2, s. 56)

Liimaliitosten etuja	Liimaliitosten haittoja
Voidaan liittää erilaisia materiaaleja keskenään	Lujuusominaisuudet heikkenevät lämpötilan noustessa
Elastiset liimat vaimentavat värähtelyä (ympäristökijät voivat heikentää elastisuutta pitkällä aikavälillä)	Liimojen pitkäaikaiskestävyydestä ei ole tietoa erilaisissa ympäristöissä
Riski galvaaniseen ja rakorossoon vähenee	Pienehkö kestävyys repimis- ja kuorimisjännityksiä vastaan
Ei esiinny vetelyä tai materiaalin sisäisen rakenteen muutoksia kuten hitsauksessa	Liitos ei ole yhtä luja kuin hitsausliitos, joka tulee huomioida duplex-teräksillä, joiden lujuus suurempi kuin muilla ruostumattomilla teräksillä

3.4 Pintakäsittely ja viimeistely

Usein levytyökeskuksilla leikattuihin kappaleisiin jää liiaksi jäystettä kiinnityskohtiin sekä leikkausreunoihin. Jäysteenpoiston tarpeellisuus vaihtelee käyttökohteesta riippuen. Jäysteet poistetaan hiomalla tai ajamalla kappaleet yksitellen tai vielä rainoihin kiinnittyneinä jäysteenpoistokoneen läpi. Jäysteenpoistokoneella voidaan tarvittaessa myös hioa kappaleen pinnat ja poistaa tuotannossa mahdollisesti syntyneet naarmut. Isoja sarjoja tuotettaessa jäysteenpoistoon käytetään myös rummutusta eli liukuhiomista, jossa kappale on vuorovaikutuksessa hiovien kappaleiden ja kemikaalien kanssa. Sinkityille ja muille pinnoitetuille

ohutlevyille ei yleensä suoriteta koneellista jäysteenpoistoa pinnoitteen vaurioitumisen takia. (5, s. 28.)

Jauhemaalaus on yleisesti käytetty ohutlevytuotteiden pintakäsittelymenetelmä. Automatisoitava jauhemaalaus soveltuu erityisesti sarjatuotantoon. Jauhemaalauksella ei voi maalata hyvin ohutta maalikerrosta, sillä minimivahvuus on noin 40 µm. Tärkeimmät jauhemaalausmenetelmät ovat pyörresintraus, jolla voidaan maalata maksimissaan noin 500 µm vahvuisia kerroksia, sekä sähköstaattinen jauheruiskutus, jolla maalikerroksen maksimipaksuus on noin 200 µm. Jauhemaalattu maalikerros on paksuudeltaan hieman epätasainen, mutta se on tiivis ja kestävä. Maalikerros kovetetaan 140 - 200 °C lämpötilassa. (5, s. 28.)

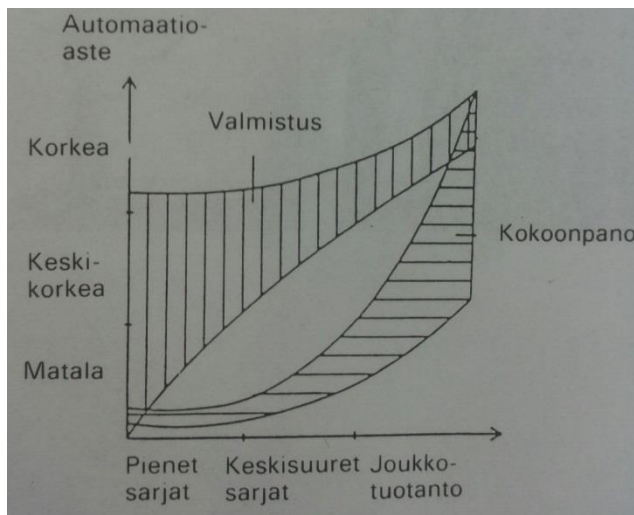
3.5 Kokoonpano

Kokoonpano on oman tehtaan eri valmistusvaiheissa valmistettujen ja muilta hankittujen osien sekä standardikomponenttien ja -tarvikkeiden liittämistä toisiinsa toimivaksi koneeksi tai laitteeksi tai sellaisten osiksi. Kokoonpano tapahtuu valmistavalla tehtaalla. Jos konetta tai laitetta kootaan asiakkaan luona, on kyseessä asennus. (4, s. 479.)

Kokoonpanoa suoritetaan aivan pienistä, suurina erinä valmistettavista kulutustavaroista suuriin koneisiin ja teräsrakenteisiin saakka. Erilaisissa työtehtävissä kokoonpanotekniikkakin luonnollisesti on erilainen. (4, s. 479.)

Kokoonpano, varsinkin suomalaiselle metalliteollisuudelle ominainen pienten erien kokoonpano, edustaa monissa tapauksissa suurta työmäärää suhteessa koko tuotteen työmäärään (kuva 14). Edelleen kokoonpanoon sitoutuu runsaasti tuotantotilaa. (4, s. 479.)

Työvaltaisen, tilaa vievän ja ammattitaitoa vaativan kokoonpanon rationalisointi on ajankohtainen asia, sillä mm. palkkakustannukset nousevat nopeammin kuin esimerkiksi konekustannukset. Sarjatuotannossa kokoonpanon rationaaliseen suorittamiseen mm. kiintein eli jäykin automaatein on ollut aina pakko kiinnittää riittävästi huomiota. Tosin automatisointi ei sarjatuotannossakaan ole aina tahtunut samalla tehokkuudella kuin muussa valmistuksessa. (4, s. 479.)



KUVA 14. Automaatioaste kokoonpanossa verrattuna valmistukseen (4, s. 479)

Automaattinen kokoonpano

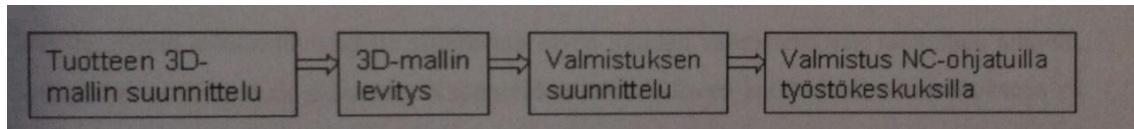
Jäykän kokoonpanoautomaation alue on suursarjavalmistus, jonka edellytykset Suomessa ovat harvoin olemassa. Kokoonpanolinjan muuttaminen tuotteelta toiselle on joko mahdotonta tai vaikeaa ja kallista. Automatisointimielessä kokoonpano on houkutteleva, sillä valtaosa siitä on yksinkertaista rutiinityötä, siirtoja ja kuljetuksia, jotka omat omiaan mm. roboteille. (4, s. 481.)

Joustavien automaattisten kokoonpanolaitteiden käyttö edellyttää tiettyä tuoteperhettä, jota valmistetaan suuria määriä, esimerkiksi satoja tuhansia kappaleita vuodessa. Valitun tuoteperheen puitteissa on mahdollista kokoonpanna eri tuotemuunnelmia tilausten mukaisessa järjestyksessä. Laitteiden joustavuuden kasvaessa ja suhteellisen hinnan alentuessa tulee entistä pienempien sarjojen joustava automaattinen kokoonpano ennen pitkää kannattavaksi. (4, s. 481.)

3.6 Ohutlevytuotteen suunnittelu

Tuotteen suunnitteluvaiheessa voidaan vaikuttaa tyypillisesti noin 70 - 80 %:iin tuotteen kehityksessä ja valmistuksessa syntyvistä kustannuksista. Näin ollen suunnitteluvaiheen merkitystä ei voida liikaa korostaa. Hyvän suunnittelutyön perustana on ottaa huomioon mahdollisimman aikaisessa vaiheessa kaikki tuot-

teen elinkaaren eri vaiheisiin liittyvät tavoitteet ja rajoitukset. Tällöin on mahdollista saavuttaa suuria säästöjä materiaali- ja tuotantokustannuksissa. Kuvassa 15 on esitetty ohutlevyteollisuudelle tyypillinen suunnittelutyönkulku. (14, s. 2.)



KUVA 15. Ohutlevyteollisuudelle tyypillinen työnkulkuprosessi (5, s. 16)

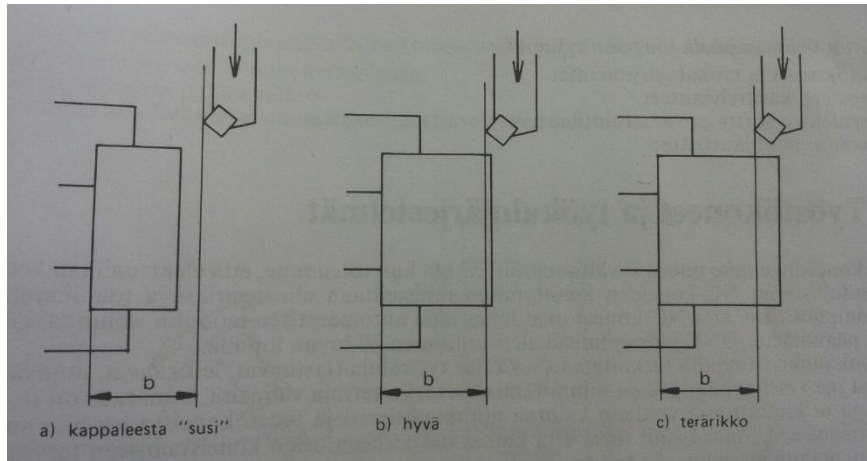
3.6.1 Materiaalin valinta

Sähkölaitteen ohutlevymateriaalia valittaessa tulisi mahdollisuuksien mukaan valita aina standardimateriaaleja. Etenkin globaalista valmistuksessa on materiaalien saatavuus varmistettava ja tarkistettava standardien vastaavuus eri maanosissa. Tuotteessa käytettävän ohutlevymateriaalin pinnanlaatu ja jälkikäsittely on oltava spesifioitu sen mukaan, millainen pintakäsittely tuotteelle tehdään. Esimerkiksi metallimaalaukseen tarkoitetuissa levyissä oikea suojauskäsittely on öljyäminen myös sinkitissä teräksissä. Saatavilla on myös valmiiksi fosfatoituja ja orgaanisesti suojattuja teräslaatuja ja ne sopivat erinomaisesti maalaukseen. Sähkösinkittävissä tai kromattavissa kappaleissa on kiinnitettävä huomiota pinnanlaatuun ja suojaöljyn määrään ja materiaalia tilattaessa on syytä mainita se, että teräs sopii elektrolyyttiseen pintakäsittelyyn. (1, s. 3.)

Levytyökeskuksilla on omat vaatimuksensa lähtömateriaalin suhteen: paksuus-toleranssit, tasomaisuus ja pinnankarheus tulee olla käsittelyyn sopivat. Tiukennetuilla tasomaisuustoleransseilla voidaan varmistaa levytyökeskuksen häiriötön tuotanto. Levyn tulisi olla kuiva tai korkeintaan kevyesti öljytty. Pinnoitteet ja materiaalit tulisi valita olosuhdevaatimusten mukaan. Esimerkiksi sisäkäyttöön tulevan sähkölaitteen teräsosat eivät tarvitse paksua sinkkikerrosta, mikä vain hankaloittaa teräksen vastushitsausta. Ohutlevymateriaalien valinnassa on otettava huomioon myös materiaalien kierrätettävyys, mikä on helpoin toteuttaa kun tuote on valmistettu yhdestä metallisysteemistä. (1, s. 3.)

3.6.2 Materiaalierän vaihto ja vaikutus

Automatisoitaessa edeltävien työvaiheiden on oltava kertaluokkaa tarkempia ja tasalaatuisempia kuin jos ihminen suorittaa työvaiheen. Tämä tarkoittaa esimerkiksi aihoiden mittatarkkuutta, sekä valu- tai terästoimittajien laatua. Tähän kuuluvat ainakin kovuusvaihtelut sekä raaka-aineen mikrorakenne, joka vaikuttaa mm. lastujen katkeamiseen. (4, s. 460.)



KUVA 16. Työstettävän kappaleen laadun vaikutus lopputulokseen (4, s. 461)

Tuotannonohjauksen ja materiaalivalvonnan avulla toteutetaan tuotannon kannattavuus. Jos ohjaus ei toimi, joudutaan jo aloitettujen sarjojen koneistus keskeyttämään, aloittamaan uusi sarja tai tapahtuu muuta taloudellisesti kannattamatonta. Tilannetta helpottaa jos asetusajat ovat mahdollisimman lyhyitä, jolloin on nopeaa ja helppoa aloittaa uusi työ. (4, s. 460.)

Loppujen lopuksi ihmiset toteuttavat korkeat käyttöasteet ja häiriöttömän tuotannon. On tärkeää huolehtia työntekijöiden koulutuksesta ja motivoinnista, eli saada heidät tuntemaan koneet, laitteistot ja materiaalit. (4, s. 461.)

Valvontalaitteet

Laadunvalvonnan on huolehdittava siitä, että sarjavalmistus suoritetaan annettujen laatuksien mukaisesti. Tähän kuuluu mm. visuaalinen tarkastus sekä markkinoilla olevia valvontalaitteistoja. Valvontalaitteet ovat laitteita, joilla pyritään jäljittelemään niitä usein vaistonvaraisia työntekijän reaktioita, joiden avulla hän pyrkii estämään vahinkoja sekä valvoo ja ohjaa laatua. Näiden laitteiden

merkitys kasvaa eksponentiaalisesti korreloiden tavoitellun automaattisen jakson pituuteen. (4, s. 467.)

Yksi automaattisen valvonnan muoto on mittaohjauksen käyttö. Mittaohjauksella tarkoitetaan laitteistoa, joka automaattisesti mittaa työkappaleet ja korjaa terien asemaa työstökoneessa vastaavasti. (4, s. 467.)

Toinen tarpeellinen valvontamuoto on itse työstöprosessin valvonta. Tällä pyritään estämään esimerkiksi terärikoista tai aihoiden mitta- ja kovuusvaihteluista syntyvät vahingot. Periaatteena useissa markkinoilla olevissa järjestelmissä on äänittää kappaleen valmistus. Tämän jälkeen asetetaan ylä- ja alatoleranssirajat. Mikäli seuraavien kappaleiden koneistuksissa pysytään annetuissa rajoissa, todetaan, että prosessi on kunnossa. Suure jota tallennetaan voi olla esimerkiksi karamoottorin momentti, työkalulla lastuttu aika, työstöstä syntyvä ääni tai työstökohdan lämpötila. (4, s. 468.)



KUVA 17. Videomittauslaite Ultra Quick Vision (12)

Kolmas automaattisen valvonnan muoto on tarkastaa aihio ennen koneistuksen alkamista. Tähän toimintoon liittyy yleensä automaattinen asetusten teko. Aihio voidaan tarkastaa esimerkiksi silhuettikuvakappaleesta matriisikameralla tai lasermittauksella. Kuvassa 17 on suurten sarjakokojen aihoiden mittaamiseen käytettävä videomittauslaite. (4, s. 468.)

Materiaalierään yleensä myös lisätään toimittajan toimesta valmistuseränumero, jolloin jälkiseuranta onnistuu ja mahdollisesti viallinen erä saadaan eristettyä jatkotutkimuksia varten.

3.6.3 Mekaaninen, terminen ja EMC-suunnittelu

Sähkölaitteen kotelon mitoituksen lähtökohtana on kotelon mekaaniset ja termiset vaatimukset. Nämä vaatimukset on annettu yleisesti standardissa EN-50298, joka määrittelee tyhjän kotelon mekaaniset ja termiset vaatimukset. Yksittäisen sähkölaitteen koteloinnin vaatimuksen on annettu kyseessä olevaa sähkölaitetta koskevassa tuotestandardissa. (1, s. 3.)

Käyttöolosuhteet asettavat kotelon iskunkestävyydelle vaatimuksia, jotka on määriteltä kaksinumeroisella IK-koodilla. Standardissa EN-50102 on määriteltä IK-luokat sekä iskunkestävyyden testaus. Iskukestävyydsluokissa 00 - 10 vaihtelevat koteloiden suojaukset täysin suojaamattomasta 20 joulen iskuenergian kestävään koteloon. (1, s. 3 - 4.)

Ulkokäyttöön tulevissa laitteissa on otettava huomioon ympäristörasitukset ja niiden vaikutukset suojauksen toimintaan käyttöaikana. Myös kuljetuksen ajakselta korroosiolta on suojauduttava. Usein juuri kuljetuksen aikana on korroosioriski suurimmillaan, koska laitteen ollessa toiminnassa saattaa laitteen tuottama lämpö haihduttaa koteloon tiivistyneen veden. (1, s. 4.)

Usein laitekotelo on osana laitteen EMC-suojauksa. EMC voidaan jakaa kahteen osaan: laitteen ympäristölleen aiheuttamiin häiriöpäästöihin ja laitteen kykyyn sietää ympäristöstä tulevia häiriöitä. Molemmissa tapauksissa häiriöt voivat edetä säteilemällä tai johtumalla. Häiriölähteet voidaan jakaa kahteen pääryhmään riippuen siitä, onko häiriö taajuusspektriltään laaja- vai kapeakaistaista (taulukko 2). (1, s. 4.)

TAULUKKO 2. Kapeakaistaisia ja laajakaistaisia häiriölähteitä (1, s. 4)

Kapeakaistaisia häiriölähteitä	Laajakaistaisia häiriölähteitä
Mikroprosessorit	Kytkimet, releet
RF-generaattorit	Kotitalouskoneet
Lääkintälaitteet	Sähköpurkauslamput
ATK-laitteet	Tehopuolijohteet
Mikroaaltolaitteet	2-johdin regulaattorit
Radio- ja TV-vastaanottimet	Sytytysjärjestelmät
Hakuriteholähteet	Hitsauslaitteet
Ultraäänilaitteet	Ukkonen, koronapurkaukset
Radio- ja TV-lähettimet	Ydinräjähdys

Sähköä johtava ohutlevymateriaali toimii sellaisenaan häiriösuojana. Häiriövaimeneminen ohutlevyissä riippuu siitä, minkä tyyppistä säteilyä on. Matalien magneettikenttien vaimennuksessa materiaalin paksuus ja magneettinen permeabiliteetti vaikuttavat vaimennukseen. Korkeataajuuksien sähkökenttien vaimennuksessa taas materiaalin johtavuus on tärkein ominaisuus. Kotelorakenteen läpivientien, reikien ja rakojen sallittuihin mittoihin vaikuttaa säteilyn taajuusalue. Oviin ja luukkuihin on mahdollista lisätä EMC-tiivistys. Ulkokäyttöön tulevilla laitteilla on otettava huomioon ympäristörasitukset ja niiden vaikutus suojauksen toimintaan koko laitteen käyttöaikana. (1, s. 4.)

3.6.4 Valmistustekninen suunnittelu

3D-suunnitteluun siirtyminen nopeuttaa ja helpottaa suunnittelijan ja tuotteen valmistajan yhteistyötä. Valmistaja saa suunnittelijalta tuotemallin, josta hän tuottaa osakuvat ja ohjelmoinnin omaan tuotantoon sopivaksi. Ohutlevytuotteen suunnittelijan on tunnettava valmistustekniikka ja seurattava alan kehitystä, jotta kaikki olemassa olevat tekniikat tulevat hyödynnetyiksi. Esimerkiksi levytyökeskuksissa on monia uusia mahdollisuuksia: kombilinjat, monityökaluasemat, muovausmahdollisuudet, kierteytys, taivutus ja erilaiset merkinnät. Taivutukset on suunniteltava tuoteperheittäin kullekin taivutusmenetelmälle, kuten NC-särmäykseen, robottisärmäykseen tai taivutusautomaattiin sopivaksi. Levynpaksuudet ja mitat tulisi moduloida varastonimikkeiden minimoimiseksi. Puristimuovaus voi tulla taloudellisimmaksi valmistusmenetelmäksi suuremmissa sarjoissa. (1, s. 4 - 5.)

Liittämismenetelmän valinta riippuu ohutlevymateriaalista. Yleisimmät liitosmenetelmät ohutlevytuotteissa ovat vastushitsaus, sulahitsaus ja mekaaniset liitosmenetelmät. Siirryttäessä käyttämään pinnoitettuja levyjä joudutaan tavallisesti suunnittelemaan tuote, liitosmenetelmä ja jopa muotoilu uudelleen. Esimerkiksi pistehitsaus ei sovellu maalipinnoitetuille levyille ja paksuille metallipinnoitteille sekä alumiinillekin huonosti. Maalipinnoitetuissa levyissä joudutaan yleensä siirtymään mekaanisiin liittämismenetelmiin, esimerkiksi puristusliittämiseen niittaukseen tai saumaukseen. Joillekin materiaaleille, kuten austeniittiselle ruostumattomalle teräkselle, puristusliittäminen ja niittaus sopivat kuitenkin huonommin johtuen materiaalin suuresta muokkauslujittumisesta. Ruostumattomien niittien tarjonta on lisäksi vielä rajoitettua. (1, s. 5.)

Tappien, muttereiden ja konsolien liittäminen suoraan levyyn lyhentää tuotteen läpimenoaikaa ja helpottaa kokoonpanoa. Kierretappeja ja muttereita on saatavilla sekä hitsattavia että mekaanisesti kiinnitettäviä versioita. Yleisesti ottaen tuotteen kokoonpanon suunnittelu kannattaa tehdä automaattista valmistusta varten, jolloin myös manuaalinen kokoonpano on helppoa. Tuotteen erilaistaminen tulee tehdä mahdollisuuksien mukaan vasta tuotannon loppuvaiheessa. (1, s. 5.)

3.6.5 Ympäristötekkinen suunnittelu

Ympäristötekkinen suunnittelu koskee tuotteen koko elinkaarta sen valmistuksesta hävittämiseen ja kierrättämiseen saakka. Ohutlevymateriaalien ja liitososien tulisi olla vakioituja. Tuotteen pääkomponenttien on hyvä olla helposti purettavissa. Tuotteen hyvä huollettavuus ja muokattavuus lisäävät sen käyttöikää. (1, s. 5.)

Ongelmamateriaaleja, kuten lyijyä, elohopeaa, antimonia, berylliumia, kadmiumia, kuudenarvoista kromia ja halogenoituja yhdisteitä tulee välttää jo määräystenkin vuoksi. Myös yhdistelmäateriaaleja tulisi välttää, koska ne ovat vaikeita kierrättää. Kierrätettävien ja uusiomateriaalien käyttö tuotteissa on ympäristötekkinisesti kannattavaa. Pintakäsittelyprosessin päästöjä voidaan pienentää, kun käytetään valmiiksi pinnoitettuja tai ruostumattomia teräslevyjä. Ympäristötekkinen suunnittelun alkuvaiheessa on hyvä kartoittaa käytössä ja kehitteillä

olevat kierrätysmenetelmät ja suunnitella tuote näihin materiaalinkierrätysmenetelmiin soveltuvaksi. (1, s. 5.)

3.7 Valmistusmenetelmien automatisointi

Tässä kappaleessa pyritään selvittämään automatisoinnin perusperiaatteita, vallitsevaa terminologiaa ja laitteistoa. Kappale on kirjoitettu lastuavan valmistustekniikan näkökulmasta, mutta samat periaatteet soveltuvat mm. muovavaan tai levytyötekniikkaan.

3.7.1 Määritelmiä ja terminologiaa

Puhuttaessa automatisoinnista puhutaan usein soluista, osaperheistä tai kirjainlyhenteistä. Taulukon 3 lyhenteet ovat yleisesti hyväksytyjä ja ne samalla kuvaavat hyvin joustavan automaation tasoja. (4, s. 456.)

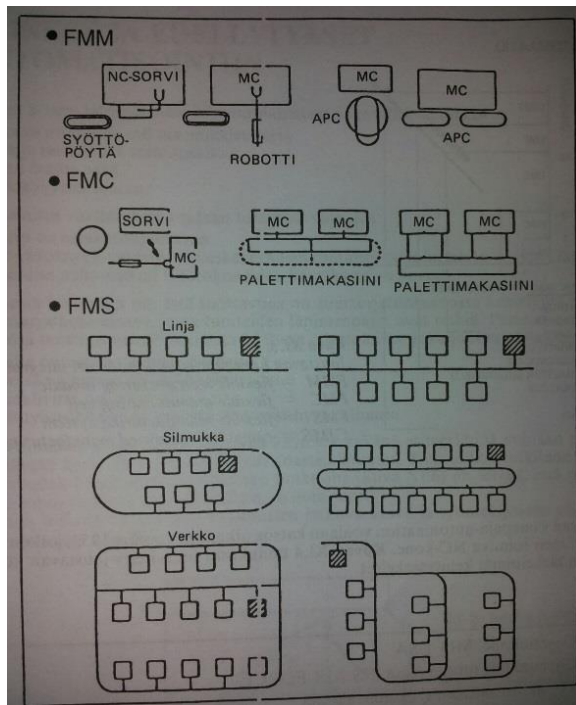
TAULUKKO 3. Automatisoinnin lyhenteitä (4, s. 456)

FMM	=	flexible manufacturing module
FMC	=	flexible manufacturing cell
FMS	=	flexible manufacturing system
FMF	=	flexible manufacturing factory
CIMS	=	computer intergrated manufacturing system

FMM on yhden työstökoneen ja panostuslaitteen muodostama moduuli (kuva 18). Panostuslaite on yleisimmin robotti tai paletin vaihtaja. Moduulista koneistetaan ja vaihdetaan työkappaleet työstökoneeseen automaattisesti. (4, s. 456.)

FMC on joustava valmistussolu, johon panostuslaitteen lisäksi kuuluu yksi tai useampia työstökoneita, apulaitteina esimerkiksi automaattinen mittaus sekä kappalemakasiini (kuva 18). Solussa pyritään kappaleet tekemään sopivaan vaiheeseen asti valmiiksi. (4, s. 456.)

FMS on joustava valmistusjärjestelmä, joka on rakennettu useammista soluista tai moduuleista yhdistämällä ne automaattisella kappaleiden kuljetuksella (kuva 18). Järjestelmässä kappaleet tehdään täysin valmiiksi. Kappaleet on viimeistely, pesty ja tarkastettu. Järjestelmään kuuluu myös valmiiden kappaleiden ja raaka-aineiden varastointi. (4, s. 456.)



KUVA 18. Joustavien valmistusmoduulien, solujen ja -järjestelmien perusmuotoja materiaalivirran mukaan ryhmiteltyinä (4, s. 457)

FMF on joustava automatisoitu tehdas. Se on laaja järjestelmä, jossa automaattisesti valmistetaan valmiita tuotteita. Automatisoitu tehdas käsittää yleensä tuotteiden automaattisen kokoonpanon ja maalauksen. Järjestelmissä on integroitu tuotannon- ja materiaalinohjaus. (4, s. 456.)

CIMS on integroitu järjestelmä, joka sisältää yritykselle tyypilliset toiminnot. Valmistuksen kaikki toiminnot on automatisoitu mukaan lukien tuotteiden testausten, pakkauksen ja toimituksen (kuva 19). Myös muut toiminnot kuten tuotekehitys, tilausten käsittely, tuotannonohjaus ja materiaalinvalvonta on liitetty järjestelmään. (4, s. 456.)



KUVA 19. Joustavan konepaja-automaation eri integrointitasot (4, s. 458)

3.7.2 Edellytykset automatisointiin

Maailmassa eletään kilpailutilanteessa tällä hetkellä hitaan talouskasvun aikaa. Tämän vuoksi tuotteilta vaaditaan asiakkaan asettamia erikoisominaisuuksia, lyhyttä ja täsmällistä toimitusaikaa, korkeaa laatua sekä kilpailukykyistä hintaa. Nämä vaatimukset voidaan täyttää vain jos tuotanto on asiakasohjautuvaa, käyttöpääoma eli varastot ja keskeneräinen tuotanto on minimoitu, jonka johdosta tuotteilla on lyhyt läpimenoaika, sekä investoidun pääoman eli työstökoneiden käyttöaste on korkea. (4, s. 459.)

Silti fakta on, että tuottavuus suursarjatuotannossa on kehittynyt nopeammin kuin piensarjatuotannossa, jossa tuotteiden läpimenoajat ovat pitkiä. Yleensä piensarjatuotannossa tuotteen valmistumisesta 95 % on odottamista. Tämä johtuu siitä, että tuotteilla on useita valmistusvaiheita, jokaisessa vaiheessa on pitkä asetus aika, sekä materiaalivirta on sekava. Edellä mainituista syistä työstökoneiden käyttöasteet ovat piensarjatuotannossa hyvin alhaisia. (4, s. 459.)

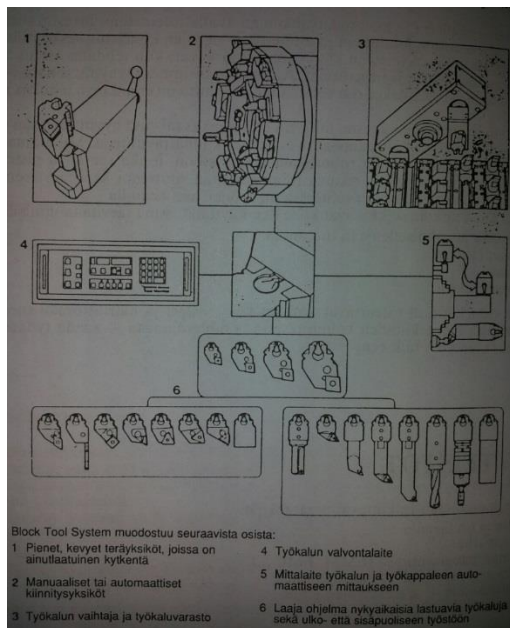
3.7.3 Laitteistot

Useat tekijät vaikuttavat laitteistojen hankintaan. On selvitettävä mm. mitä laitteita on tarjolla, mikä on valittu osaperhe, mikä on järjestelmän integrointitaso

(FMM, FMC jne.), tavoiteltu automaattisen työjakson pituus, joustavuustavoite ja asetusajkojen pituus, sekä hinta. (4, s. 461.)

Laitteistot voidaan jakaa seuraaviin ryhmiin: työstökoneet ja työkalujärjestelmät, kappaleen käsittelylaitteet, kappaleiden siirto- ja varastointilaitteet, sekä valvonta- ja ohjauslaitteet. (4, s. 462.)

Työkalujärjestelmillä (kuva 20) tarkoitetaan itse työkaluja eli lastuavia, leikkaavia, muovaavia työkaluja, mutta myös työkalun kiinnittämiseen tarkoitettuja välineitä. Nykyään työkaluja ja kiinnittimiä voidaan vaihtaa automaattisesti ja työstökoneissa on niin suuret työkalurevolverit ja makasiinit, että kaikki osaperheen osien koneistamiseen tarvittavat työkalut mahtuvat niihin. Puhutaan niin sanotusta vakioasetuksesta. Näillä järjestelmillä lyhennetään oleellisesti työstökoneiden asetusajoja. Kappaletta vaihdettaessa kutsutaan työstökoneen muistista uusi ohjelma, joka hoitaa työkalujen ja kiinnittimien vaihdon. (4, s. 462.)



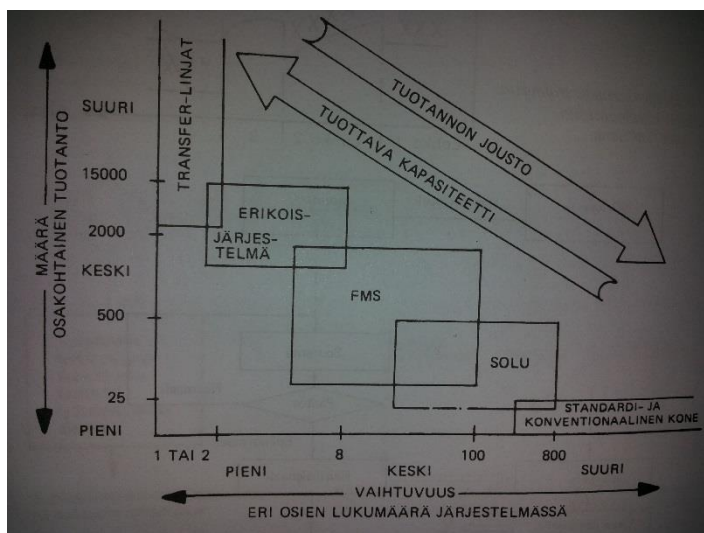
KUVA 20. Sorvin työkalujärjestelmä, jossa työkalurevolverissa oleviin työkaluvarsiin voidaan automaattisesti vaihtaa lastuava kärkiosa työkalupaleiden mukaan (4, s. 462)

Kappaleen käsittelylaitteilla tarkoitetaan laitteita, jotka vaihtavat kappaleita työstökoneisiin. Nämä voidaan jakaa manipulaattoreihin ja robotteihin. Manipulaattorit ovat yleensä pneumaattisia, nokkaohjattuja samaa työnkiertoa toteuttavia laitteita. (4, s. 463.)

Kappaleiden siirto- ja varastointilaitteet ovat välttämättömiä, jotta järjestelmät toimisivat yksinkertaisimmassakin moduulissa. Tarvitaan myös paikka, josta aihio otetaan ja paikka, johon valmis kappale asetetaan. Automaattisen jakson pituus ja työkappaleen tahti aika määräävät, monelleko aihiolle ja valmiille kappaleelle on tilaa oltava. FMS:ssä syntyy tarve siirtää kappaleita eli hoitaa materiaalivirta solusta toiseen. FMF:ssä on yleensä automaattiset raaka-ainevarastot. (4, s. 465.)

3.7.4 Joustavuus ja sen merkitys

Voidaan puhua monenlaisista joustavuuksista, esimerkiksi valmistusjärjestelmän ominaisjoustavuudesta, rakenteellisesta joustavuudesta tai strategisesta joustavuudesta. Tyypillistä eri käsitteille on, että tarkastelun aikajänne pitenee listassa alaspäin (kuva 21). Tärkein on ominaisjoustavuus. Ominaisjoustavuudella tarkoitetaan käytännössä lyhyitä asetusaikoja. (4, s. 470.)



KUVA 21. Erialaisten valmistusmenetelmien joustavuus. (4, s.470)

Markkinat vaativat kiihtyvässä tahdissa joustavuutta ja tuotteiden elinkaaret lyhenevät. Tämä esiintyy tuotannossa usein ohjaushäiriönä, jolloin keskeytetään aloitettuja sarjoja ja välissä tehdään pieniä eriä muita osia. Kuitenkin tärkeimpiä syitä joustavuuden parantamiseksi lienee sidotun pääoman kalleus yritykselle. On olemassa arvioita, joiden mukaan keskeneräisen työn hinta yritykselle on noin 40 % työn arvosta. Tämä koostuu mm. menetetyistä katteista sidotulle pääomalle, ohjaushäiriöistä, ohjaukseen liittyvästä byrokratiasta ja muista seikoista. (4, s. 470.)

Yrityksen tulos on siis suuresti riippuvainen keskeneräisen työn ja varastojen kiertonopeudesta. Näitä parannetaan lisäämällä joustavuutta eli lyhentämällä asetusajoja ja tätä kautta pienentämällä sarjasuuruuksia. (4, s. 470.)

Asetusaikamielessä itse työstökoneet eivät ole enää ongelma. Koneiden muistit ovat niin isoja, että osaperheen kaikki ohjelmat voivat olla niissä valmiina. Kappaleen vaihtuessa kutsutaan vain oikea ohjelma käyttöön. Sama pätee itse robottiin. Asetusaikoja pidentävät kaikki muut solun komponentit jotka ovat mekaniikkaa ja joita ovat työkalujen vaihto, kiinnittimien vaihto, robotin tarttujan asetus tai vaihto, kuljettimien asetus tai mitta-asemien ja manipulaattoreiden asetus. (4, s. 470 – 471.)

Oman haasteensa joustavuudelle tuo osaperheen valinta. Selvää on, että mitä pienempi on osaperhe, sitä lähempänä kappaleet ovat toisiaan työkaluvaihteita, kiinnityksiltään ja mitoiltaan. Näin asetustyötä on vähemmän. Suppeissa osaperheissä ei ole riittävästi volyyymia ja tämä on ongelma etenkin Suomen konepajateollisuudessa. Tällöin FMS-investointia ei saada kannattavaksi. (4, s. 471.)

Mitä laajemmaksi ja universaalimmiksi eri komponenttien toiminta-alueet saadaan, sitä joustavampi järjestelmä on. Tässä alueiden laajentamisessa apuna ovat mm. suuret työkalumakasiinit ja työkalujärjestelmät, automaattiset leukojen- tai pakanvaihdot sorveihin, laajaliikkeiset robottien tarttajat, sekä erilaisten kiinnittimien iskun pituuksien kasvaminen. Silti asetusajojen lyhentämisessä ei sovi unohtaa myöskään tuotekehityksen ja maalaisjärjen merkitystä. (4, s. 471.)

Tuotekehityksellä voidaan standardisoida kappaleiden kiinnityksiä, koneistuksia, tartuntakohtia jne. Tällä tavoin voidaan uusia osia puristaa osaperheeseen. Maalaisjärjellä tarkoitetaan kaiken turhan työn poistamista ja jäljelle jäävän työn oikea-aikaista suoritusta. Perusajatuksena on jakaa asetustyö ns. sisäiseen ja ulkoiseen asetukseen. Ulkoisella asetuksella tarkoitetaan työtä, joka voidaan tehdä valmistelevana työnä edellisen sarjan aikana koneiden käydessä. Sisäinen asetustyö tehdään koneet pysäytettynä. (4, s. 472.)

3.7.5 Automatisoinnin taso ja integrointi

Automatisoinnin tasolla tarkoitetaan tässä sitä, kuinka syvälle automatisoinnissa edetään, eli mitkä toiminnot tapahtuvat automaattisesti. Tämä taso on riippuvainen osaperheestä ja miehittämättömän jakson pituudesta. Selvää on, että mitä pidempään miehittämättömään jaksoon pyritään, sitä useammat toiminnot ja valvonnat on automatisoitava. Ääriesimerkkinä voidaan pitää järjestelmää, joka huolehtii raaka-aineen saannista, huolehtii valmiiden tuotteiden poisviennistä, valvoo laatua, valvoo työstöprosessia, korjaa itse häiriönsä sekä tekee asetukset automaattisesti. (4, s. 472.)

Integroinnilla tarkoitetaan järjestelmän laajuutta, näitä ovat jo aiemmin käsitellyt FMM, FMC, FMS, FMF ja CIMS. Mitä integroidumpi järjestelmä on, sitä komplisoidummaksi muodostuu sen ohjaus. Variaatioiden ja priorisointisääntöjen määrä kasvaa eksponentiaalisesti suhteessa järjestelmän laajuuteen. Usein on myös niin, että järjestelmän laajentuessa myös automatisoinnin taso kasvaa. (4, s. 472.)

On siis erityisen tärkeää tarkasti harkita ja laskea investoinnin herkkyys automatisointi-projekteissa. Miekka on kaksiteräinen: mitä pidemmälle automatisoidaan ja mitä laajempi järjestelmä on, sitä suuremmat ovat säästöt. Toisaalta investoinnit kasvavat ja riskit epäonnistua joko teknisistä tai ohjauksellisista syistä tulevat todennäköisemmiksi. (4, s. 472.)

4 YHTEENVETO

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, millaisilla eri tekniikoilla erikokoiset elektroniikan mekaniikkarakenteet toteutetaan, millaisia valmistusmenetelmiä käytetään, miten valmistusautomaatiota käytetään erikokoisilla tuotesarjoilla sekä millaisia käytännön haasteita tämä aiheuttaa valmistusautomaatiolle ja tuotantomäärien skaalaukselle. Konepajateollisuus tarjoaa nykypäivänä useita eri tekniikoita ohutlevyjen leikkaukseen, muotoiluun, liittämiseen sekä pintakäsittelyyn ja viimeistelyyn. Valmistustekniikan valinta tehdään jo suunnitteluvaiheessa, jolloin kannattaa muutenkin mahdollisuuksien mukaan ottaa huomioon kaikki tuotteen elinkaaren eri vaiheisiin liittyvät tavoitteet ja rajoitukset.

Keskeisessä asemassa on, että koska eletään hitaan talouskasvun aikaa, tuotteilta vaaditaan asiakkaan asettamia erikoisominaisuuksia, lyhyttä ja täsmällistä toimitusaikaa, korkeaa laatua sekä kilpailukykyistä hintaa. Markkinat vaativat joustavuutta ja tuotteiden elinkaaret lyhenevät. Näitä vaatimuksia pyritään tyydyttämään investoimalla monipuolisiin levytyökeskuksiin, joiden asetus- ja läpimenoajat ovat lyhyitä ja jotka sisältävät mahdollisimman paljon tuotteen valmistukseen kuuluvia työvaiheita. Keskeneräinen tuote sitoo yrityksen pääomaa, ja yrityksen tulos on suuresti riippuvainen siitä ja varastojen kiertonopeudesta.

Tuottavuus suursarjatuotannossa on kehittynyt nopeammin kuin piensarjatuotannossa, jossa tuotteiden läpimenoaika on pitkä. Suurin osa piensarjatuotteen valmistumisesta on odottamista piensarjatuotteen useiden valmistusvaiheiden ja pitkien asetusaikojen vuoksi.

Materiaalit ja isot sarjakoot tuovat haasteita työkalujen kestolle, ja on tärkeää, että materiaalien laadunvalvonta on hyvällä ja ennen kaikkea ennakoivalla tasolla. Työstökoneisiin integroidut valvontalaitteistot helpottavat tätä työtä. Materiaalin laadun taso on ehdoton edellytys automatisoinnin järjestämiseen.

On erityisen tärkeää harkita ja laskea automatisoinnin taso ja siihen liittyvät investoinnit yritykselle. Pidemmälle automatisoidut järjestelmät tuovat säästöä, mutta investointeihin sitoutuu pääomaa ja riskit epäonnistua teknisistä tai oh-

jauksellisista syistä kasvavat. Etenkin Suomen konepajateollisuudessa ongelmana on osaperheiden suppeus, jolloin niissä ei ole tarpeeksi volyymia, jotta esimerkiksi FMS-investointi saataisiin kannattavaksi.

Elektroniikan mekaniikan valmistuksen alalla kilpailutilanne on koko ajan muuttoksessa. Vanhoja ja uusia työstömenetelmiä on jatkuvasti tutkittava ja kehitettävä, jotta niistä saataisiin suurin hyöty ja etu kilpailijoihin pidetään yllä.

LÄHTEET

1. Toivanen, Teemu 2000. Ohutlevy sähkö- ja elektroniikkalaitteissa. Julkaisuja 12. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu.
2. Havas, Taru – Hiitelä, Erja – Hultin, Sami – Matilainen, Jorma – Parviainen, Miikka 2011. Ohutlevytuotteiden suunnittelijan käsikirja. Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy.
3. Aho, Mikko – Korkonen, Jaakko – Paloposki, Keimo – Ylitalo, Matti 2005. Sähköturvallisuuden perusteet toisen asteen ammatillisessa koulutuksessa. Seinäjoki: Seinäjoen koulutuskeskus.
4. Aaltonen, Kalevi – Aromäki, Mauri – Ihalainen, Erkki – Sihvonen, Pentti 2007. Valmistustekniikka. 12. painos. Helsinki: Otatieto, Gaudeamus Helsinki University Press, HYY-yhtymä.
5. Mäkikangas, Jarmo 2006. Lasertyöstö elektroniikan mekaniikan tuotannossa. Diplomityö. Oulu: Oulun yliopisto, Konetekniikan osasto.
6. Elektroniikkalaitteiden koostumus. LUT Energia 2015. Saatavissa: https://noppa.lut.fi/noppa/opintojakso/bl20a0100/luennot/luento_4.pdf. Hakupäivä 16.12.2014.
7. Koivisto, Kaarlo – Laitinen, Esko – Niinimäki, Matti – Tiainen, Tuomo – Tiilikka, Pentti – Tuomikoski, Juho 2004. Konetekniikan materiaalioppi. 10. painos. Helsinki: Edita Publishing Oy.
8. Bulleting. 2003. Puristeliittimien tuoteopas. PennEngineering. Saatavissa: http://www.pemnet.com/fastening_products/pdf/pgdata.pdf. Hakupäivä: 21.5.2015.

9. TOX Joining Technique. 2015. Tox Pressotechnik. Saatavissa:
http://www.expo21xx.com/automation21xx/136_st2_processing-units/default.htm. Hakupäivä: 22.5.2015.
10. Mäkikangas, Jarmo 2006. Laser- ja suurnopeustyöstötekniikan erikoisosaiminen-projekti - Pinnoitettujen ohutlevyjen laserhitsaus. Saatavissa:
http://www.oulu.fi/fmt/FMT6/PDF/Arkisto/Pinnoitettujen_ohutlevyjen_laserhitsaus.pdf. Hakupäivä 24.5.2015.
11. Computer cooling. 2015. Wikipedia. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Computer_cooling. Hakupäivä 24.5.2015.
12. Videomittauslaitteiden tuoteopas. 2015. Mitutoyo. Saatavissa:
http://www.teraskonttori.fi/easydata/customers/teraskonttori/files/mittausvalineet/Mitu_luettelo_422-431.pdf. Hakupäivä 24.5.2015.
13. Komi, Janne 2013. Vesi- ja pölytiivit elektroniikkalaitteiden kotelot. Kandidaatintyö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Teknillinen tiedekunta.
14. Laherto, Anssi 2010. Ohjeita ohutlevytuotteiden valmistusystävälliseen suunnitteluun. Kandidaatintyö. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Teknillinen tiedekunta.